

**ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE CALIDAD DEL SERVICIO, DEL
ACTUAL ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL SDL PARA UNA
ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA: DE REDES ABIERTAS DESCUBIERTAS
A REDES DE CABLEADO XLPE TRENZADO DE FORMA AISLADA PARA
VOLTAJES EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN DEL SERVICIO PRESTADO POR LA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A E.S.P.**

MIGUEL FERNANDO BUELVAS SARABIA



**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS, CONTABLES Y DE NEGOCIOS -
ECACEN
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE PROYECTOS
BUCARAMANGA
2018**

**ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE CALIDAD DEL SERVICIO, DEL
ACTUAL ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL SDL PARA UNA
ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA: DE REDES ABIERTAS DESCUBIERTAS
A REDES DE CABLEADO XLPE TRENZADO DE FORMA AISLADA PARA
VOLTAJES EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN DEL SERVICIO PRESTADO POR LA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A E.S.P.**

MIGUEL FERNANDO BUELVAS SARABIA

**Monografía presentada como requisito para optar al título de especialista en
gestión de proyectos.**

**Director:
HENRY CELY GRANADOS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS CONTABLES Y DE NEGOCIOS –
ECACEN
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE PROYECTOS
BUCARAMANGA
2018**

DEDICATORIA

La presente monografía de grado quiero dedicarlo de manera especial a quien día a día guío mi camino, me lleno de entendimiento y sabiduría, Dios.

A mi esposa, Rudy Deyamira Fuentes Fuentes e hijos Miguel Alejandro Buelvas Fuentes y Juan Sebastián Buelvas Fuentes, por su amor, motivación y constante apoyo durante mis estudios y ahora finalización de esta especialización.

A mis padres, José Fernando Buelvas Posada y Alix María Sarabia Durán, por sus consejos y amor incondicional.

A mi hermana Alix Lizneis Buelvas Sarabia por su apoyo, colaboración y amor.

A mi excelente director de monografía, Henry Cely Granados, por su compromiso en este trabajo de investigación y sus valiosos aportes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por haberme permitido estudiar la especialización, darme las fuerzas, el empeño, la sabiduría y un paso más en mi crecimiento personal y profesional.

Igualmente deseo expresar mi gratitud a todas las personas que aportaron de manera directa o indirecta a la realización de la presente monografía con el suministro de información que fortaleció el contenido de esta entrega. A mi esposa e hijos por brindarme todo su apoyo y comprensión, a mis padres por su preocupación en mi bienestar y crecimiento profesional, a mi hermana por su motivación y colaboración incondicional.

Y además mi sincero agradecimiento a mi Director de Proyecto, quien con su guía y enfoque estratégico para el desarrollo en la elaboración de éste proyecto.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 12 |
| 1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 14 |
| 3. OBJETIVOS | 16 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL..... | 16 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 4. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 4. 1. CALIDAD DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA | 17 |
| 4.1.1 Aspectos Técnicos y Regulatorios | 17 |
| 4.1.2 Historia | 19 |
| 4.1.3 Concepto y Ventajas XLPE | 20 |
| 4.1.4 Diferencia entre el XLPE, PVC y EPR..... | 26 |
| 4.1.5 Cables baja y media tensión aislados XLPE 90 °C. | 29 |
| 4.1.6 Cables Media Tensión Aislados 90 °C. | 34 |
| 4.1.7 Ventajas de líneas protegidas de forma aisladas de media tensión..... | 36 |
| 4.2 GESTIÓN DE LA CALIDAD DE UN PROYECTO SEGÚN PMBOK | 37 |
| 4.2.1 Planificar la gestión de la calidad | 39 |
| 4.3 REALIZAR EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD..... | 42 |
| 4.3.1 Entradas | 43 |
| 4.3.2 Herramientas y Técnicas | 43 |
| 4.3.3. Auditorías de Calidad | 44 |
| 4.3.4 Controlar la Calidad..... | 45 |

| | |
|---|----|
| 5. CASOS DE ESTUDIO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN..... | 49 |
| 5.1 CASO # 1 | 49 |
| 5.1.1 Actividades de sistema eléctrico de media tensión con suministro de cableado XLPE:..... | 50 |
| 6. DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE LAS REDES ELÉCTRICAS | 54 |
| 6.1 DISTANCIAS DE SEGURIDAD | 54 |
| 6.2 FACTORES DE RIESGOS MÁS COMUNES..... | 55 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 60 |
| 8. RECOMENDACIONES | 62 |
| 9. REFERENCIAS..... | 63 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Valores Típicos de las Temperaturas en Compuestos Termoplásticos y Termoestables usados en la Fabricación de Cables | 28 |
| Tabla 2. Comparación entre Aislamientos Termoplásticos y Termoestables..... | 29 |
| Tabla 3. Cable TTU 600 V. | 30 |
| Tabla 4. Cable TTU 2000 V. | 31 |
| Tabla 5. Cable TTU Aluminio 600 V. | 32 |
| Tabla 6. Cable TTU Aluminio 2000 V..... | 33 |
| Tabla 7. Conductor de Cobre 5 KV – 100% / 133%..... | 35 |
| Tabla 8. Conductor de Aluminio 5 KV - 100% / 133%..... | 36 |
| Tabla 9. Factores de riesgos más comunes en las instalaciones eléctricas | 55 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Modelo de cable de media tensión. | 23 |
| Figura 2. Triple Extrusión. | 24 |
| Figura 3. Proceso de Vulcanización del Polietileno | 26 |
| Figura 4. Materiales Plásticos para Cables Eléctricos y de Telecomunicaciones .. | 27 |
| Figura 5. Cable TTU Cobre XLPE..... | 29 |
| Figura 6. Cable TTU Aluminio XLPE..... | 31 |
| Figura 7. Cable de Cobre XLPE 5 KV, 8 KV, 15 KV, 25 KV, 35 KV y 46 KV. | 34 |
| Figura 8. Cable de Aluminio XLPE 5,8,15,25,35 Y 46 KV..... | 35 |
| Figura 9. Gestión de la calidad | 38 |
| Figura 10. Localización del proyecto..... | 49 |

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE CALIDAD DEL SERVICIO, DEL ACTUAL ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL SDL PARA UNA ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA: DE REDES ABIERTAS DESCUBIERTAS A REDES DE CABLEADO XLPE TRENZADO DE FORMA AISLADA PARA VOLTAJES EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN DEL SERVICIO PRESTADO POR LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A E.S.P*

AUTOR: BUELVAS SARABIA, Miguel Fernando**

PALABRAS CLAVES: Energía eléctrica, redes abiertas, redes aisladas trenzada polietileno reticulado (XLPE), baja tensión, media tensión, selectividad, tiempos de despeje de fallas.

DESCRIPCIÓN

En el presente trabajo de monografía se analiza el estado actual del esquema de protección en redes abiertas descubiertas a redes de cableado polietileno reticulado (XLPE) trenzado de forma aislada para voltajes en baja y media tensión del Sistema de Distribución Local (SDL) de ESSA, donde se evidencian oportunidades de mejora, lo concerniente a la selectividad y a los tiempos de despeje de fallas.

Estas dos características están directamente vinculadas con la calidad del servicio y calidad de la potencia eléctrica que como Operador de Red (OR) la ESSA debe cumplir en su propósito de brindar un servicio de energía eléctrica con calidad a los usuarios.

En la revisión del estado del arte de los esquemas de protección y tecnologías disponibles de la ESSA se encuentra que la compañía cuenta con la protección de las líneas de distribución de sobre corriente direccional digitales y un Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS); dando una propuesta de mejora no convencional al esquema de protección de redes de cableado polietileno reticulado (XLPE) trenzado de forma aislada del área metropolitana de Bucaramanga.

*Monografía

** ESCUELA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS, CONTABLES Y DE NEGOCIOS – ECACEN. Director: Henry Cely Granados

ABSTRACT

TITLE: STUDY FOR THE IMPROVEMENT OF QUALITY OF THE SERVICE, OF THE CURRENT SCHEME OF LOCAL DISTRIBUTION SDL FOR AN UPDATE OF TECHNOLOGY: FROM OPEN NETWORKS DISCOVERED TO WIRING NETWORKS Glasses in the case of the situation in the case. DE SANTANDER SA ESP *

AUTHOR: BUELVAS SARABIA, Miguel Fernando **

KEY WORDS: Electric power, open networks, isolated braided xlpe networks, low voltage, medium voltage, selectivity, fault clearing times.

DESCRIPTION

In the present monograph work, the current state of the protection scheme in open networks discovered XLPE cabling networks of the local distribution system (SDL) of ESSA is analyzed, where opportunities for improvement are evident, which concerns the selectivity and the times fault clearance.

These characteristics are linked to the quality of the service and the electrical power as Network Operator (O) ESSA must fulfill its purpose of providing an electric power service with the quality of the users.

In the review of the state of the art of protection schemes and technologies of the ESSA, it is found that the company has the protection of the distribution lines of the digital directional current and a substation automation system (SAS); An improvement proposal has not been defined as a protection scheme for stranded XLPE wiring networks in isolation from the metropolitan area of Bucaramanga.

* Monograph

** SCHOOL OF ADMINISTRATIVE, ACCOUNTING AND BUSINESS SCIENCES - ECACEN. Director: Henry Cely Granados

INTRODUCCIÓN

La importancia y la necesidad en un sistema eléctrico, es contar con un esquema de protección para aislar las fallas o secciones afectadas, detectando los problemas a tiempo, permitiendo así que el resto del servicio eléctrico permanezca en funcionamiento y disminuir el daño a los otros equipos (Harper, 2006).

La Electrificadora de Santander S.A E.S.P., es una empresa prestadora de servicio eléctrico seguro, confiable y de calidad a los usuarios, con protección selectiva y operación a tiempo de fallas eléctricas.

Las disposiciones reglamentarias de las leyes 142 y 143 de 1.994 y las respectivas resoluciones de la comisión de regulación de energía y gas, regulan la actividad de la transmisión y distribución de la energía eléctrica del país (Tobón & Valencia, 2003).

El texto que se presenta en la monografía es un compendio de temas ya documentados en manuales y en una cantidad de artículos especializados y está estructurada de la siguiente manera: el marco teórico que permite contextualizar al lector referente a la calidad del servicio, aspectos técnicos, regulatorios y las protecciones de sistemas de distribución local SDL, que permiten identificar las oportunidades de mejora, para actualización de tecnología en las redes de cableado.

Se espera que los capítulos desarrollados en este trabajo llenen las expectativas de las personas interesadas y encuentren un texto de obligada consulta para poder abordar literatura más especializada.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un Sistema eléctrico está expuesto a condiciones de fallas, las líneas de transmisión y sub-transmisión son las más comprometidas a estas condiciones dentro de las cuales tenemos las descargas atmosféricas, objetos y animales sobre las redes eléctricas, maniobras operativas inadecuadas, vandalismo, degradación del material y daños por terceros. Una de las principales amenazas que más afecta para el sistema es el corto circuito, teniendo repercusiones negativas en la vida útil de conductores y máquinas como transformadores y generadores (Flórez, 2006).

La demanda creciente en el sistema eléctrico implica expansión y mejoramiento continuo del sistema de distribución de redes de cableado de baja y media tensión, aumentando la longitud, complejidad y los tiempos de duración de las averías que se puedan presentar, en zonas urbanas y si a esto agregamos el impacto medioambiental (Rendón & Hinestroza, 2011). La necesidad de brindar un servicio de energía continuo y confiable, con un mínimo de interrupciones, que garantice calidad de energía a los clientes (regulados y no regulados).

Este proyecto se realiza debido a los accidentes suscitados en ciertos barrios del área Metropolitana de Bucaramanga a causa de las diferentes condiciones que afectan el sistema eléctrico de la ESSA

Se necesita implementar un esquema de protecciones eléctricas que cubra las diversas condiciones de falla a la que se expone normalmente en redes abiertas descubiertas a redes de cableado polietileno reticulado (XLPE) trenzado de forma aislada, con tiempos de despeje rápidos, esto se logra realizando un estudio detallado que contribuyan al diagnóstico, pruebas y localización en el cableado eléctrico que permita de manera equilibrada, costo- beneficio, resultados eficientes para la compañía.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En este sentido, la pregunta que orienta la presente monografía es:

¿Qué tan viable puede ser la puesta en marcha de incorporar un sistema de protección eléctrico de redes de cableado polietileno reticulado (XLPE) trenzado de forma aislada de la empresa Electrificadora de Santander S.A E. S. P dedicada al suministro de energía eléctrica para mejorar la calidad del servicio de los usuarios de Bucaramanga, Santander?

2. JUSTIFICACIÓN

Los cables de baja y media tensión que se utilizan para la distribución de energía eléctrica generalmente son confiables, pero es necesario implementar mecanismos de mejora que garantice su normal funcionamiento (Castaño, 2004). Es importante conocer nuevas propuestas e ideas tecnológicas que aseguren acertados diagnósticos de los problemas presentados en los esquemas eléctricos de distribución, ya que su crecimiento ha venido siendo constante y que los procedimientos utilizados en el pasado han llegado a ser obsoletos.

Para la Electrificadora de Santander S.A E.S.P. es claro que su política de calidad sea prestar el servicio de energía con los mejores y más altos estándares de calidad exigidos por los organismos que regulan y califican el servicio de energía eléctrica suministrado a los usuarios; por eso se ve la necesidad de cambiar las redes de cableado por un material más resistente y así garantizar que su funcionamiento sea eficaz.

Con el diagnóstico de los cables polietileno reticulado (XLPE) trenzado se podrán prevenir futuras fallas permitiendo un normal funcionamiento del sistema, generando bajas pérdidas (monetarias y eléctricas) bajando los índices tanto de duración como frecuencia de las fallas: Indicador de calidad que representa la duración promedio por usuario de las interrupciones de un sistema de distribución en un periodo establecido. Sigla de la denominación inglesa de System Average Interruption Duration Index (SAIDI) e Indicador de calidad que representa la cantidad promedio por usuario de interrupciones de un sistema de distribución en un periodo establecido. Sigla de la denominación inglesa de System Average Interruption Frequency Index (SAIFI), reglamentos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (GREG) por lo cual establece la metodología para la remuneración de la actividad de la distribución de energía eléctrica en el sistema de interconectado nacional, han sido modificados por la comisión que son exigidos a las empresas

operadoras del servicio eléctrico en la resolución 019 de 2017 (Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG, 2017)

Del estudio de la presente monografía se beneficiarán la empresa, y los usuarios del servicio prestado, porque al hacer una documentación pertinente y clara no se dependerá del todo de personas que hayan trabajado con el actual sistema eléctrico, si no que cualquier persona con conocimiento en las materias de distribución de energía eléctrica en voltajes de baja y media tensión y conocimiento general en instrumentación y medidas pueda entender las mejoras de calidad de las redes de cableado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio para el mejoramiento de calidad del actual esquema de cambio de redes abiertas descubiertas a redes de cableado polietileno reticulado (XLPE) trenzado de forma aislada para voltajes en baja y media tensión del servicio prestado de la Electrificadora de Santander S.A E.S.P.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el actual manejo de la gestión de daños en redes para el suministro de información a los proyectos de construcción de redes de distribución en baja y media tensión.
- Identificar las estrategias que direccionen hacia la correcta gestión de mantenimiento de redes, para que este proceso de estudio de mejoramiento de calidad tecnológico no impacte de forma negativa a los proyectos del actual esquema en desarrollo de distribución en baja y media tensión.
- Emitir un concepto técnico sobre proyectos de mantenimiento de redes abiertas descubiertas, innovando a redes trenzadas aisladas para niveles de tensión en baja y media.
- Evaluar el impacto económico y social en el mejoramiento de la calidad del servicio para el cambio de actualización a redes de cableado eléctrico aislado en polietileno reticulado (XLPE).

4. MARCO TEÓRICO

4. 1. CALIDAD DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Este capítulo contiene los conceptos técnicos y el marco teórico relacionado con la calidad del servicio de energía eléctrica.

4.1.1 Aspectos Técnicos y Regulatorios

Las empresas reguladas deben conseguir el equilibrio óptimo entre sus costos de inversión, operación y mantenimiento, y la calidad del servicio que proporcionan a sus consumidores (Espinoza, 2010). En el caso de una empresa distribuidora de electricidad, es clara la relación directa que existe entre los costos de inversión, mantenimiento y el nivel de calidad en el suministro (Urbiztondo, 2000). A mayores costos e inversiones se obtendrá una mejor calidad del servicio y viceversa. Utilizar materiales de mala calidad y bajo costo redundará en una mayor tasa de falla de los equipos (Rosander, 1992). Disponer de pocas brigadas de reparación se supone que se produce la falla en la demora de un tiempo mayor en reparar de nuevo el suministro. Esto supone unos costos directos e indirectos y suelen valorarse mediante lo que se llama el costo de la energía no suministrada que sufre el consumidor (Mass, 1994).

La transformación del Sector Eléctrico Colombiano introducida por el Constituyente y dirigida por las Leyes 142 y 143 de 1994 cambia la orientación de la disponibilidad del servicio de energía como factor principal en la prestación del mismo, realiza criterios de eficiencia y calidad en el desarrollo del sector reflejándose en beneficio para los usuarios (Congreso de Colombia, 1994).

La calidad del servicio en Colombia, se da mediante el Reglamento Distribución (Resolución CREG 070 de 1998), como parte de integralidad de las tarifas de energía eléctrica, aspectos generales de normas técnicas en cuanto a la calidad de

la onda y parámetros a la continuidad del servicio (Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG, 1998).

Los parámetros y procedimientos para la evaluación de la calidad del servicio, han sido modificados por la Comisión, mediante las Resoluciones 025 y 099 de 1999, 096 de 2000, 159 de 2001 y 084 de 2002 (Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG., 1999). El cargo de distribución del nuevo periodo tarifario que se reconoce a las empresas a través de las fórmulas tarifarias, en donde para la recuperación de las inversiones en infraestructura de transporte en el STR y/o SDL se tienen en cuenta las unidades constructivas reconocidas a valor de reposición a nuevo con una mínima calidad esperada asociada con dichas unidades constructivas, es necesario que se establezcan los criterios con los que se evaluará la calidad en el servicio, exigida por el marco regulatorio actual.

Aspectos principales destacados según el marco regulatorio de la calidad en los Sistemas de Distribución Local, contenido en la Resolución CREG 070 de 1998 son:

- a) Se distinguen dos tipos de indicadores los de calidad de la potencia suministrada y los de calidad del servicio prestado. Los primeros se relacionan con la calidad del producto (regulación de voltaje, forma de onda y factor de potencia), y el segundo con la continuidad en la prestación del servicio.
- b) La regulación incluye los mecanismos para el pago a los usuarios de las compensaciones a que tienen derecho cuando las empresas prestan un servicio que incumple los estándares establecidos regulatoriamente. El desarrollo regulatorio en materia de compensaciones es diferente según se trate de la calidad de la potencia suministrada o de la calidad del servicio prestado.

- c) En el caso de la inadecuada calidad de la potencia suministrada (incumplimiento de los estándares asociados), si se presenta un daño a los equipos o aparatos eléctricos del usuario, éste tiene derecho a que el OR (operador de red) reemplace o repare los equipos o aparatos. Para que se lleve a cabo, el usuario interpone un proceso de reclamación según la Ley 142 de 1994 (Congreso de Colombia, 1994, art. 152 a 159).
- d) En caso de presentarse baja calidad del servicio prestado (incumplimiento de los estándares de continuidad), la regulación contempla la aplicación de un mecanismo automático de compensación al usuario. Esto corresponde a un menor valor a pagar en la factura del servicio.
- e) Los estándares de calidad de la potencia suministrada, se definieron a partir de normas técnicas nacionales (regulación de tensión) y mediante la referencia a guías internacionales (forma de onda).
- f) Los estándares de calidad del servicio prestado, se definieron la metodología de remuneración vigente para los STR y/o SDL, la calidad real que en su momento presentaban dichos sistemas y las características de prestación del servicio a los usuarios (diferencias entre zonas urbanas y rurales).
- g) Se previeron mecanismos de control por parte de los entes de vigilancia y control (aplicación de indicadores por defecto, auditorias, encuestas de satisfacción del usuario, etc.), así como por parte del usuario (la posibilidad de contabilizar sus propios indicadores y reclamar cuando lo considere conveniente) (Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG, 1998).

4.1.2 Historia

Durante la primera Guerra Mundial, se le dio un gran uso a los cables de potencia tripolares y aislados en papel impregnado, con tensión de operación hasta 25 kV

(Romero, 1996) Al no haber uniformidad del cable se va generando una distribución del campo eléctrico inapropiado, de manera que para contrarrestar la situación se construían los cables con aislamiento bastante grueso. Las primeras apariciones del cable de Media Tensión surgieron con aislamiento en papel impregnado de aceite o caucho vulcanizado (Toldeano, 2007).

En 1933 el Polietileno se utilizó por primera vez como material de aislamiento en cables de radio frecuencia (Sánchez, 1994). En 1950 se utilizó como material de aislamiento en cables para sistemas de Distribución de energía, encargando de sustituir los anteriores aislamientos, por sus reducidas pérdidas dieléctricas y su facilidad de procesamiento (Bolund & Bernhoff, 2007). Las décadas siguientes se vieron marcadas por el incremento en el nivel de tensión que se podría manejar con los cables aislados en Polietileno, después de un proceso de reticulación XLPE (Carrasco, Franquelo, & Bialasiewicz, 2006). En la actualidad el nivel de tensión más alto que se ha logrado manejar en una aplicación de generación de energía en Japón de 500 kv en un cable aislados en polietileno reticulado (XLPE) (Cables para energía y telecomunicaciones S.A CENTELSA, 2008).

El reticulado del polietileno de baja densidad (LDPE) por medio de peróxidos (DCP), para formar luego el XLPE, fue logrando por primera vez por Gilbert y Precopio en 1.955 y se empezó a usar el XLPE a mediados de los años 60 para aislamientos de cables de baja tensión y se extendió a cables de media, alta y extra tensión (Inducor Ingeniería S. A., 2010).

4.1.3 Concepto y Ventajas XLPE

Para satisfacer las demandas en la calidad del mercado mundial de conductores eléctricos, se ha de incorporar en Santander un proyecto de nuevos materiales dieléctricos aislantes, que permiten instalar los conductores aislados y ponerlos en servicios de condiciones ambientales en forma segura y eficiente.

Ha surgido el polietileno reticulado XLPE o polietileno de cadena cruzada que hace parte de un polietileno termoplástico que es vulcanizado o reticulado mediante el empleo de agentes químicos y/o físicos como presión, temperatura y vapor reordenando las cadenas moleculares entrelazadas del polietileno termoplástico (Ávila, Ochoa, & Soliz, 2014).

Se utiliza en la construcción de cables de baja, media y alta tensión. La ausencia de halógenos en su composición hace que los gases, de su combustión no sean corrosivos (Chabni, 2012).

Las propiedades eléctricas del polietileno termoplástico son:

- Alta resistencia dieléctrica y de aislación.
- Baja constante dieléctrica.
- Bajo factor de pérdida y resistencia aumentada a la humedad.

El XLPE presenta características eléctricas y térmicas altamente mejoradas frente al PVC. El XLPE es un material termoestable, que una vez reticulado no cambiaran sus características así estén sometidos a un aumento de temperatura y presión (Borbor, 2015).

Existe una opción de aislamiento XLPE-TR (Cross-linkable Polyethylene, Tree Retardant) Polietileno Reticulado que ofrece un comportamiento mejorado con la formación de arborescencias (Villegas, 2017). Consiste en la formación de caminos al interior del aislamiento, por los cuales aparece circulación de cargas desde el conductor hacia el apantallamiento.

El aislamiento XLPE-TR es muy utilizado en sitios en donde los cables la mayor parte del tiempo están trabajando en condiciones de saturación de agua (CENTELSA, 2008).

La ventaja principal que presentan los cables aislados con XLPE es el aumento de temperatura de operación (de 70°C a 90°C) (Estrada, Elam, & Gracia Villar, 2012). Esto permite transportar mayor intensidad de corriente por la misma sección de conductor o transportar el mismo valor de corriente utilizando una sección menor de conductor con el consiguiente beneficio económico.

Durante un tiempo determinado, el total de la vida útil del cable aislado como es el caso del XLPE, podrá transportar aún más corriente que la especificada para 90°C, en estado de sobrecarga de 130°C y de 250°C en cortocircuito. Superados estos valores de temperatura durante intervalos de tiempos no adecuados pondrían en peligro las características y el desempeño del cable XLPE (CENTELSA, 2008).

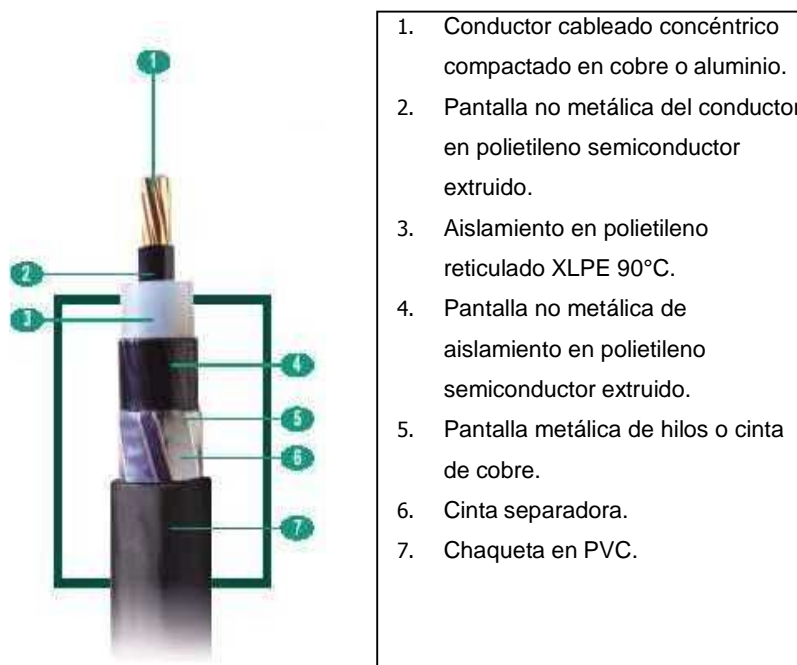
Por último, el XLPE presenta una resistencia mejorada al contacto con el agua y es más económico que otros cables aislados, por ejemplo, el cable EPR (Productos Vulcanizados S.A, 2011).

Para proteger la seguridad de las personas, sus bienes y respetar nuestro medio ambiente. Se aporta las siguientes ventajas:

- Reducida emisión de gases tóxicos.
- Nula emisión de gases halogenados.
- Baja emisión de humos opacos.
- No permite la propagación del incendio ni de la llama.
- Alto porcentaje de reciclabilidad.
- Reducen los costos vinculados al incendio.
- No afecta al medio ambiente (Editores S.R.L, 2017).

Modelo de cable de Media Tensión. El aislamiento del cable es polietileno reticulado (XLPE).

Figura 1. Modelo de cable de media tensión.



Fuente: CENTELSA. (2015).

Cada una de estas partes cumple una función específica, dependiendo del calibre y del cable. Su nivel de aislamiento y el voltaje para el cual está diseñado, varía el número de hilos trenzados, el apantallamiento y otros factores. El modelo aplicado es el mismo pero cada cable tiene sus propias parámetros (Rendon & López, 2008).

El proceso de reticulación se puede obtener a través de estos dos métodos Peróxidos y Silanos (Pessanha, Rocha, & Da Silva, 2011).

El primer método requiere de un compuesto que contenga un iniciador usualmente un peróxido orgánico en su estructura química original no procesada. El compuesto debe ser preparado de la temperatura de descomposición del peróxido.

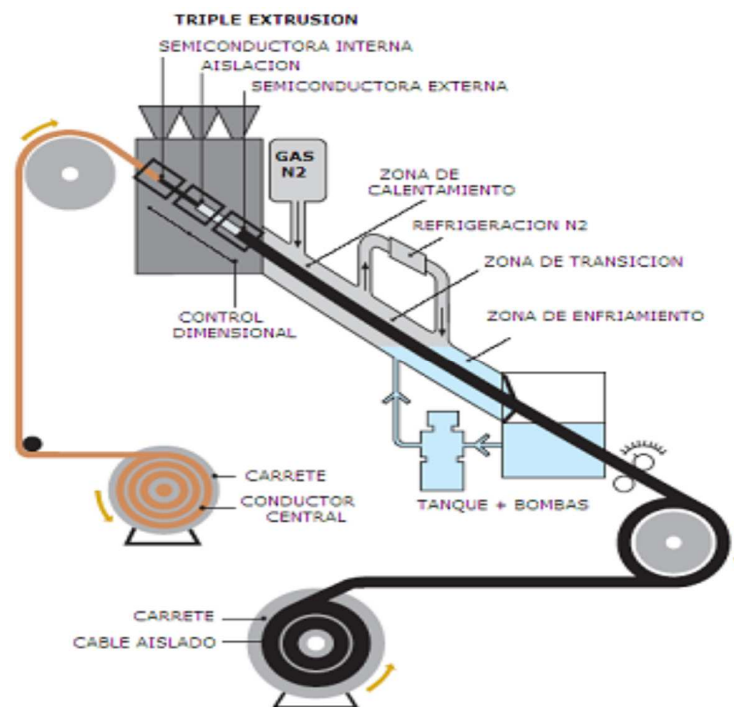
Para alcanzar la reticulación se necesita de un equipo de extrusión especial junto a largos tubos llenos de vapor o nitrógeno con altas temperaturas y presiones para generar la reacción química de los peróxidos. Las altas temperaturas descomponen

el peróxido y liberan radicales libres que sustraen átomos de hidrógeno de la cadena del polímero, este entonces se convierte en un radical reactivo que puede formar un enlace con otro radical libre formado así una cadena cruzada.

Esta reacción ocurre permanentemente hasta que todo el peróxido es consumido o la temperatura cae por debajo del punto de descomposición (CENTELSA, 2015).

El proceso de aplicación del material de aislamiento sobre un conductor se conoce como proceso de extrusión.

Figura 2. Triple Extrusión.



Fuente: CENTELSA, 2015

Y el otro método es por Silanos, no requiere de una extrusora especial y en donde el choque térmico generado por la humedad del canal de enfriamiento y la temperatura ambiente permite que el material termoplástico se reticule por la

reacción del silano después de varias horas o inclusive días. Generalmente es alcanzada después del proceso de extrusión.

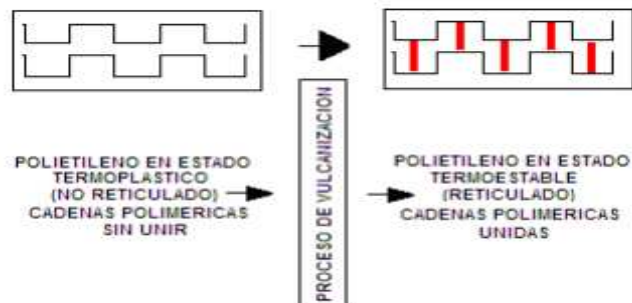
Las moléculas de largas cadenas se enlazarán durante el proceso de curado o vulcanizado, dentro de un tubo de Vulcanizado Continuo (VC) o reactor, para formar un material que será mecánicamente más fuerte que el original, con propiedades eléctricas similares funciona a mayores temperaturas (Inducor Ingeniería S. A., 2010).

El Polietileno de Cadena Cruzada ó XLPE (Cross-Linked Polyethylene) se le aplica el proceso de reticulación o vulcanización, esto mejora las características termomecánicas del compuesto. El proceso de vulcanización o reticulado ocurre en condiciones especiales de temperatura a las que es sometido el material inmediatamente es extruido; es decir el material no se funde ni se deforma al incrementar la temperatura. La antigua tecnología utilizaba el vapor de agua como medio para transferir el calor al Polietileno, mezclado con peróxidos para luego obtener la reticulación a condiciones específicas de presión y temperatura. El proceso de reticulación de tecnología de punta, utiliza el Nitrógeno como medio para transferir el calor, mediante este elemento en forma gaseosa se controlan las condiciones de presión y temperatura y dado que no se usa vapor recibe el nombre de Curado en Seco. Los cables reticulados en seco son de calidad superior a los reticulados en vapor, ya que la presencia de humedad en el aislamiento puede inducir a la formación de arborescencias.

La implementación de un sistema de Curado en Seco requiere equipos e infraestructura de última tecnología y la capacitación del personal para su operación.

En ambos procesos de reticulación, se busca es generar enlaces transversales entre las moléculas del polímero, para convertir un material termoplástico en termoestable.

Figura 3. Proceso de Vulcanización del Polietileno



Fuente: Inducor Ingeniería S. A (s.f.).

Según el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 las tensiones de diseño de los cables para Media Tensión las más usadas en Colombia son 5,8,15,25,35 KV. El de 46 KV según la NTC 2186.

Los niveles de aislamiento pueden ser del 100%, 133% ó 173%, cada nivel se utiliza según la protección asociada al circuito para el cual el cable está prestando el servicio (CENTELSA, 2008).

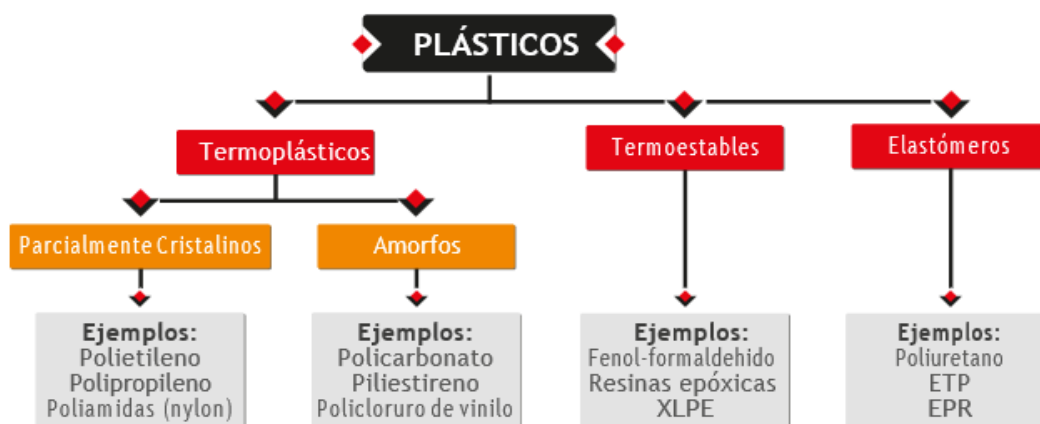
4.1.4 Diferencia entre el XLPE, PVC y EPR

Un cable es el conjunto de varios conductores eléctricos, normalmente aislados por una funda protectora y aislante eléctrica.

Los metales de los cableados eléctricos son el cobre y el aluminio. El cobre tiene mayor conductividad, tiene mejores características mecánicas y el aluminio es menos conductible, es más ligero y más económico.

La parte aislante del cable, es el material por el que no puede pasar la corriente eléctrica y que cubre el alma conductora del cableado para que la corriente no salga fuera de la misma. Usualmente puede ser de un material polímero, es decir de plástico.

Figura 4. Materiales Plásticos para Cables Eléctricos y de Telecomunicaciones



Fuente: CENTELSA (2015).

Los más usados son el Policloruro de Vinilo (PVC), el Caucho Etileno-Propileno (EPR) y el Polietileno Reticulado (XLPE).

Los cables llevan impreso en su aislante unas letras y números que nos dicen el material de los que están hechos (Area tecnología, 2015).

En el material del cable según tipo de Aislamiento:

R --- Polietileno Reticulado (XLPE).

X --- Polietileno Reticulado (XLPE).

V --- Policloruro de Vinilo (PVC).

D --- Elastómero de Etileno – Propileno (EPR) (Top Cable, 2017).

Los cambios de temperatura entre el PVC y el XLPE. El PVC o polietileno termoplástico que al calentarse cambia de forma y después al volverse a enfriar recupera su consistencia y conserva su nueva forma; mientras tanto al XLPE o polietileno reticulado no le sucede lo mismo que el PVC, ya que los cambios de temperatura no modifican sus propiedades mecánicas, gracias al proceso de reticulación (Inducor Ingeniería S. A., 2010).

Tabla 1. Valores Típicos de las Temperaturas en Compuestos Termoplásticos y Termoestables usados en la Fabricación de Cables

| Temperaturas Máximas en °C | Compuesto Termoplástico | | | Compuesto Termoestable | |
|----------------------------|-------------------------|-----|-----|------------------------|-----|
| | PVC | | | XLPE | EPR |
| En Operación Continua | 60 | 75 | 90 | 90 | 90 |
| En sobrecarga | 75 | 90 | 105 | 130 | 130 |
| En Corto Circuito | 105 | 130 | 150 | 250 | 250 |

Fuente: CENTELSA (2015).

El XLPE es un material con propiedades físicas, mecánicas y eléctricas superiores a las del PVC por su dureza, su elevada resistencia a la rotura, a la intemperie, al calor y a su vez a las bajas temperaturas; además del tener un mejor comportamiento eléctrico (mayor resistencia aislamiento y rigidez dieléctrica).

El EPR posee características muy similares en cuanto a capacidad de carga y temperaturas de operación del XLPE, el EPR es más flexible y posee un mejor comportamiento frente a la humedad.

En el pasado, el aislamiento para cables eléctricos que se ha usado en las instalaciones eléctricas para baja tensión ha sido el PVC en su estado termoplástico, es decir que en contacto con calor excesivo puede sufrir alteraciones físicas o la deformación (CENTELSA, 2015).

Tabla 2. Comparación entre Aislamientos Termoplásticos y Termoestables

| TERMOPLÁSTICOS | TERMOESTABLES O RETICULADOS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Cambian de forma con calor y se vuelven a endurecer con el frío. - Ganan fluidez, se deforman al incrementar la temperatura y al reducir temperatura pierden fluidez. - Estos materiales no recuperan la forma original. | No cambian de forma así estén expuestos a calor excesivo. |
| Poseen moléculas largas unidas por enlaces débiles, que se rompen al calentar el plástico. | Poseen moléculas largas unidas por enlaces fuertes transversales que no se pueden romper al calentar el plástico. |
| Se pueden fundir por calor. | No se funden con calor. |
| Las uniones débiles se reestablecen cuando se enfrían el plástico y el material mantiene su nueva forma. | Una vez adquirida su forma, ésta no puede ser alterada. |
| Posee buenas propiedades mecánicas. | Mejoran las propiedades mecánicas, en especial la abrasión y el esfuerzo a la tensión. |
| Buena resistencia a los aceites minerales. | No se agrietan al someterse a ataques químicos. También poseen un buen comportamiento frente a aceites, petróleo y gasolina, aunque en ocasiones inferiores al del PVC. |

Fuente: CENTELSA (2015).

4.1.5 Cables baja y media tensión aislados XLPE 90 °C.

4.1.5.1 Conductor de Cobre Aislados Baja Tensión.

Los conductores de cobre aislados se utilizan para baja tensión, por ejemplo, los cables TTU.

Figura 5. Cable TTU Cobre XLPE.



Fuente: CENTELSA (2015).

Se usa en líneas aéreas de distribución e iluminación. Para instalar en ductos, canalizaciones y enterramiento directo. Apto para instalaciones subterráneas. Está construido por conductor de cobre de cobre temple blando aislado con XLPE y chaqueta exterior de PVC. Sus características son:

- Tensión máxima de operación: 600 V ó 2000 V.
- Temperatura máxima de operación: 90 °C.
- Chaqueta en PVC retardante a la llama.
- Óptimas características eléctricas del aislamiento de XLPE.
- Resistente a los rayos solares (SR).
- Chaqueta externa en PVC resistente a la abrasión.

Tabla 3. Cable TTU 600 V.

| TTU 600 V | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|------------------------|------|-------------------|-------|------------|-------|------------------------|------|
| Calibre | Construcción | Espesor de aislamiento | | Diámetro exterior | | Masa total | | Capacidad de corriente | |
| | N° de hilos | | | | | | | XLPE | |
| | | | | | | | | 90 °C | |
| AWG / kcmil | N° | mm | mils | mm | in | kg/km | lb/ft | A* | A** |
| 8 | 7 | 1,52 | 60 | 6,8 | 0,266 | 105 | 70,6 | 55 | 80 |
| 6 | 7 | 1,52 | 60 | 7,7 | 0,302 | 156 | 105 | 75 | 105 |
| 4 | 7 | 1,52 | 60 | 8,9 | 0,349 | 235 | 158 | 95 | 140 |
| 2 | 7 | 1,52 | 60 | 10,3 | 0,407 | 358 | 241 | 130 | 190 |
| 1 | 19*** | 2,03 | 80 | 12,4 | 0,487 | 460 | 309 | 150 | 220 |
| 1/0 | 19*** | 2,03 | 80 | 13,4 | 0,527 | 669 | 382 | 170 | 260 |
| 2/0 | 19*** | 2,03 | 80 | 14,5 | 0,57 | 705 | 474 | 195 | 300 |
| 3/0 | 19*** | 2,03 | 80 | 15,8 | 0,621 | 875 | 588 | 225 | 350 |
| 4/0 | 19*** | 2,03 | 80 | 17,2 | 0,677 | 1088 | 731 | 260 | 405 |
| 250 | 37 | 2,41 | 95 | 19,1 | 0,753 | 1298 | 872 | 290 | 455 |
| 300 | 37 | 2,41 | 95 | 20,5 | 0,806 | 1541 | 1035 | 320 | 505 |
| 350 | 37 | 2,41 | 95 | 21,8 | 0,856 | 1784 | 1199 | 350 | 570 |
| 400 | 37 | 2,41 | 95 | 22,9 | 0,901 | 2024 | 1360 | 380 | 615 |
| 500 | 37 | 2,41 | 95 | 25,0 | 0,984 | 2503 | 1682 | 430 | 700 |
| 600 | 61 | 2,79 | 110 | 27,7 | 1,09 | 2971 | 1996 | 475 | 780 |
| 750 | 61 | 2,79 | 110 | 31,1 | 1,23 | 3746 | 2517 | 535 | 885 |
| 1000 | 61 | 2,79 | 110 | 35,0 | 1,38 | 4942 | 3321 | 615 | 1055 |

Fuente: CENTELSA (2015).

* Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C: No más de tres conductores que transportan corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 30 °C.

** Capacidad de corriente permitida en conductores monopoles al aire libre, temperatura ambiente

de 30 °C, temperatura máxima en el conductor de 90 °C.

*** Cableado concéntrico o UDC para calibres del 1 al 4/0 AWG de 19 hilos.

Nota: La información correspondiente al conductor se encuentra en la referencia cable concéntrico de cobre.

Tabla 4. Cable TTU 2000 V.

| TTU 2000 V | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|------------------------|-----|---------------------|-----|-------------------|-------|------------|-------|------------------------|------|
| Calibre | Construcción | Espesor de aislamiento | | Espesor de chaqueta | | Diámetro exterior | | Masa total | | Capacidad de corriente | |
| | XLPE | | | | | | | | | | |
| | 90 °C | | | | | | | | | | |
| AWG / kcmil | Nº | mm | in. | mm | in. | mm | in | kg/km | lb/ft | A* | A** |
| 8 | 7 | 1.40 | 55 | 0.64 | 25 | 8.0 | 0.316 | 123 | 82.6 | 55 | 80 |
| 6 | 7 | 1.40 | 55 | 0.64 | 25 | 9.0 | 0.354 | 175 | 118 | 75 | 105 |
| 4 | 7 | 1.40 | 55 | 0.64 | 25 | 10.1 | 0.399 | 257 | 173 | 95 | 140 |
| 2 | 7 | 1.40 | 55 | 0.64 | 25 | 11.6 | 0.458 | 383 | 258 | 130 | 190 |
| 1 | 19*** | 1.65 | 65 | 1.02 | 40 | 13.9 | 0.547 | 502 | 337 | 150 | 220 |
| 1/0 | 19*** | 1.65 | 65 | 1.02 | 40 | 14.9 | 0.587 | 613 | 412 | 170 | 260 |
| 2/0 | 19*** | 1.65 | 65 | 1.02 | 40 | 16.0 | 0.630 | 753 | 506 | 195 | 300 |
| 3/0 | 19*** | 1.65 | 65 | 1.02 | 40 | 17.3 | 0.681 | 927 | 623 | 225 | 350 |
| 4/0 | 19*** | 1.65 | 65 | 1.02 | 40 | 18.7 | 0.736 | 1144 | 769 | 260 | 405 |
| 250 | 37 | 1.90 | 75 | 1.52 | 60 | 21.4 | 0.843 | 1394 | 936 | 290 | 455 |
| 300 | 37 | 1.90 | 75 | 1.52 | 60 | 22.8 | 0.898 | 1643 | 1104 | 320 | 505 |
| 350 | 37 | 1.90 | 75 | 1.52 | 60 | 24.0 | 0.945 | 1891 | 1271 | 350 | 570 |
| 400 | 37 | 1.90 | 75 | 1.52 | 60 | 25.2 | 0.992 | 2137 | 1436 | 380 | 615 |
| 500 | 37 | 1.90 | 75 | 1.52 | 60 | 27.3 | 1.07 | 2628 | 1766 | 430 | 700 |
| 600 | 61 | 2.29 | 90 | 1.52 | 60 | 30.0 | 1.18 | 3129 | 2103 | 475 | 780 |
| 750 | 61 | 2.29 | 90 | 1.52 | 60 | 32.6 | 1.28 | 3858 | 2592 | 535 | 885 |
| 800 | 61 | 2.29 | 90 | 1.52 | 60 | 33.4 | 1.31 | 4099 | 2754 | 555 | 920 |
| 900 | 61 | 2.29 | 90 | 1.52 | 60 | 34.9 | 1.37 | 4582 | 3079 | 585 | 985 |
| 1000 | 61 | 2.29 | 95 | 1.52 | 60 | 36.4 | 1.43 | 5065 | 3403 | 615 | 1055 |

Fuente: CENTELSA (2015).

* Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C: No más de tres conductores transportando corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base a una temperatura ambiente de 30 °C.

** Capacidad de corriente permitida en conductores monopolares para 90 °C al aire libre con base a una temperatura ambiente de 30 °C.

*** Cableado concéntrico o UDC para calibres del 1 al 4/0 AWG de 19 hilos.

Nota: La información que corresponde al conductor se encuentra en la referencia cable concéntrico de cobre.

4.1.5.2 Conductor de aluminio aislado para baja tensión.

Figura 6. Cable TTU Aluminio XLPE.



Fuente: CENTELSA (2015).

Se usa en líneas aéreas de distribución e iluminación, indicado para instalar en ductos, canalizaciones y enterramiento directo, apto para instalaciones subterráneas.

Esta construido por conductor de aleación de aluminio serie 8000. Aislamiento con XLPE y chaqueta exterior de PVC. Sus características son:

- Tensión máxima de operación: 600 V y 2000 V.
- Temperatura máxima de operación: 90 °C.
- Chaqueta en PVC retardante a la llama.
- Óptimas características eléctricas del aislamiento de XLPE.

Tabla 5.Cable TTU Aluminio 600 V.

| TTU ALUMINIO 600 V | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------|------------------------|------|---------------------|------|-------------------|-------|------------|-------|------------------------|-------|
| Calibre | N° hilos | Espesor de aislamiento | | Espesor de chaqueta | | Diámetro exterior | | Masa total | | Capacidad de corriente | |
| | | mm | mils | mm | mils | mm | in | kg/km | lb/ft | 90 °C | 90 °C |
| AWG / kcmil | | | | | | | | | | A(1) | A(2) |
| 6 | 7 | 1,14 | 45 | 0,76 | 30 | 8,4 | 0,331 | 84,8 | 57,0 | 55 | 85 |
| 4 | 7 | 1,14 | 45 | 0,76 | 30 | 9,6 | 0,378 | 116 | 78,1 | 75 | 115 |
| 2 | 7 | 1,14 | 45 | 0,76 | 30 | 11,1 | 0,437 | 164 | 110 | 100 | 150 |
| 1 | 19 | 1,40 | 55 | 1,14 | 45 | 13,4 | 0,526 | 223 | 150 | 115 | 175 |
| 1/0 | 19 | 1,40 | 55 | 1,14 | 45 | 14,4 | 0,566 | 264 | 177 | 135 | 205 |
| 2/0 | 19 | 1,40 | 55 | 1,14 | 45 | 15,5 | 0,610 | 314 | 211 | 150 | 235 |
| 3/0 | 19 | 1,40 | 55 | 1,14 | 45 | 16,8 | 0,660 | 377 | 253 | 175 | 270 |
| 4/0 | 19 | 1,40 | 55 | 1,14 | 45 | 18,2 | 0,716 | 453 | 304 | 205 | 315 |
| 250 | 37 | 1,65 | 65 | 1,65 | 65 | 19,9 | 0,823 | 531 | 357 | 230 | 355 |
| 300 | 37 | 1,65 | 65 | 1,65 | 65 | 22,3 | 0,876 | 665 | 447 | 260 | 395 |
| 350 | 37 | 1,65 | 65 | 1,65 | 65 | 23,5 | 0,926 | 753 | 506 | 280 | 445 |
| 400 | 37 | 1,65 | 65 | 1,65 | 65 | 24,7 | 0,971 | 838 | 563 | 305 | 480 |
| 500 | 37 | 1,65 | 65 | 1,65 | 65 | 26,8 | 1,05 | 1007 | 676 | 350 | 545 |
| 600 | 61 | 2,03 | 80 | 1,65 | 65 | 29,5 | 1,16 | 1192 | 801 | 385 | 615 |
| 750 | 61 | 2,03 | 80 | 1,65 | 65 | 32,1 | 1,26 | 1440 | 968 | 435 | 700 |
| 800 | 61 | 2,03 | 80 | 1,65 | 65 | 32,9 | 1,29 | 1521 | 1022 | 445 | 725 |
| 900 | 61 | 2,03 | 80 | 1,65 | 65 | 34,4 | 1,36 | 1686 | 1133 | 480 | 790 |
| 1000 | 61 | 2,03 | 80 | 1,65 | 65 | 35,9 | 1,41 | 1846 | 1240 | 500 | 845 |

Fuente: CENTELSA (2015).

A (1): Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C: no más de 3 conductores transportando corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base a una temperatura de 30 °C.

A (2): Capacidad de corriente permitida en conductores monopolares para 90 °C al aire libre con base a una temperatura ambiente de 30 °C.

Tabla 6. Cable TTU Aluminio 2000 V.

| TTU ALUMINIO 2000 V | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|------------------------|------|---------------------|------|-------------------|-------|------------|-------|------------------------|-------|
| Calibre | N° hilos | Espesor de aislamiento | | Espesor de chaqueta | | Diámetro exterior | | Masa total | | Capacidad de corriente | |
| | | | | | | | | | | XLPE | XLPE |
| AWG / kcmil | | mm | mils | mm | mils | mm | in | kg/km | lb/ft | 90 °C | 90 °C |
| 6 | 7 | 1,40 | 55 | 0,64 | 25 | 9,0 | 0,353 | 92 | 62 | 55 | 85 |
| 4 | 7 | 1,40 | 55 | 0,64 | 25 | 10,1 | 0,399 | 125 | 84 | 75 | 115 |
| 2 | 7 | 1,40 | 55 | 0,64 | 25 | 11,6 | 0,458 | 173 | 116 | 100 | 150 |
| 1 | 19 | 1,65 | 65 | 1,02 | 40 | 13,9 | 0,547 | 234 | 158 | 115 | 175 |
| 1/0 | 19 | 1,65 | 65 | 1,02 | 40 | 14,9 | 0,586 | 276 | 185 | 135 | 205 |
| 2/0 | 19 | 1,65 | 65 | 1,02 | 40 | 16,0 | 0,631 | 327 | 220 | 150 | 235 |
| 3/0 | 19 | 1,65 | 65 | 1,02 | 40 | 17,3 | 0,681 | 390 | 262 | 175 | 270 |
| 4/0 | 19 | 1,65 | 65 | 1,02 | 40 | 18,7 | 0,737 | 468 | 314 | 205 | 315 |
| 250 | 37 | 1,90 | 75 | 1,52 | 60 | 21,4 | 0,844 | 594 | 399 | 230 | 355 |
| 300 | 37 | 1,90 | 75 | 1,52 | 60 | 22,8 | 0,897 | 683 | 459 | 260 | 395 |
| 350 | 37 | 1,90 | 75 | 1,52 | 60 | 24,0 | 0,946 | 772 | 519 | 280 | 445 |
| 400 | 37 | 1,90 | 75 | 1,52 | 60 | 25,2 | 0,992 | 868 | 577 | 305 | 480 |
| 500 | 37 | 1,90 | 75 | 1,52 | 60 | 27,3 | 1,07 | 1028 | 691 | 350 | 545 |
| 600 | 61 | 2,29 | 90 | 1,52 | 60 | 30,0 | 1,18 | 1216 | 817 | 385 | 615 |
| 750 | 61 | 2,29 | 90 | 1,52 | 60 | 32,6 | 1,28 | 1466 | 985 | 435 | 700 |
| 800 | 61 | 2,29 | 90 | 1,52 | 60 | 33,4 | 1,32 | 1548 | 1040 | 445 | 725 |
| 900 | 61 | 2,29 | 90 | 1,52 | 60 | 34,9 | 1,38 | 1714 | 1152 | 480 | 790 |
| 1000 | 61 | 2,29 | 90 | 1,52 | 60 | 36,4 | 1,43 | 1875 | 1260 | 500 | 845 |

Fuente: CENTELSA (2015).

A (1): Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C: no más de 3 conductores transportando corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base a una temperatura de 30 °C.

A (2): Capacidad de corriente permitida en conductores monopolares para 90 °C al aire libre con base a una temperatura ambiente de 30 °C.

Existen otros cables para baja tensión aislados con compuestos termoestables:

- **Cable XHH:** Cross Linked Polyethylene (XLPE) High Heat resistant, Wet-resistant/Polietileno reticulado resistente a altas temperaturas. La temperatura de operación es 90 °C en lugares secos y húmedos.
- **Cable XHHW:** Cross - Linked Polyethylene (XLPE) High Heat resistant Wet-

resistant/Polietileno reticulado resistente a altas temperaturas y ambientes mojados. La temperatura de operación es 90 °C en lugares secos y húmedos, 70 °C en lugares mojados.

- **Cable XHHW - 2:** Cross - Linked Polyethylene (XLPE) High Heat resistant Wet - resistant/ Polietileno reticulado resistente a altas temperaturas y ambientes mojados. La temperatura de operación es 90 °C en lugares secos, húmedos y mojados (CENTELSA, 2015).

4.1.6 Cables Media Tensión Aislados 90 °C.

Se usa en redes subterráneas de distribución primaria en zonas comerciales o residenciales donde la densidad de carga es muy elevada.

En plantas industriales y en edificios con subestaciones localizadas en varios niveles para la alimentación y distribución primaria de energía eléctrica. Instalación en ductos, canaletas o enterrados directo.

Los cables semiaislados se usan en sistemas de distribución aérea de energía eléctrica en media tensión, a través de zonas arboladas.

Figura 7. Cable de Cobre XLPE 5 KV, 8 KV, 15 KV, 25 KV, 35 KV y 46 KV.



Fuente: CENTELSA (2015).

Esta Construido por conductor compactado o comprimido de cobre blando o aluminio, pantalla semiconductora del conductor, aislamiento XLPE-TR (retardante a las arborescencias), pantalla semiconductora del aislamiento aplicados en triple extrusión y vulcanizado en seco. Pantalla de cinta de cobre y chaqueta de PVC-SR. Sus características son:

- Tensión máxima de operación: 5 KV, 8 KV, 15 KV, 25 KV, 35 KV y 46 KV.
- Temperatura máxima de operación normal: 90 °C. En condiciones de emergencia: 130 °C. En condiciones de corto circuito 250 °C.
- Retardante a la llama.
- Resistente a la luz solar.
- Aislamiento XLPE-TR extralimpio y retardante a la arborescencia.

Figura 8. Cable de Aluminio XLPE 5,8,15,25,35 Y 46 KV.



Fuente: CENTELSA (2015).

Tabla 7. Conductor de Cobre 5 KV – 100% / 133%.

| Conductor | | | Aislamiento | | | | Chequeta | | Masa total aprox. |
|-----------|-------|----------|-------------|---------|--------|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| Calibre | Área | Diámetro | Espesor | | | Diámetro sobre aislamiento | Espesor mínimo* | Diámetro total aprox. | |
| | | | Mínimo* | Nominal | Máximo | | | | |
| AWG/kcmil | mm² | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | kg/km |
| 2 | 33,6 | 6,81 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 12,4 | 1,40 | 17,2 | 562 |
| 1 | 42,4 | 7,60 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 13,2 | 1,40 | 18,0 | 656 |
| 1/0 | 53,5 | 8,55 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 14,1 | 1,40 | 18,9 | 776 |
| 2/0 | 67,4 | 9,57 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 15,2 | 1,40 | 20,0 | 924 |
| 3/0 | 85,0 | 10,8 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 16,4 | 1,78 | 22,0 | 1150 |
| 4/0 | 107 | 12,1 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 17,7 | 1,78 | 23,3 | 1381 |
| 250 | 126,7 | 14,2 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 20,0 | 1,78 | 25,6 | 1614 |
| 300 | 152,0 | 15,5 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 21,3 | 1,78 | 26,9 | 1876 |
| 350 | 177,3 | 16,8 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 22,6 | 1,78 | 28,2 | 2137 |
| 400 | 202,7 | 17,9 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 23,7 | 1,78 | 29,3 | 2393 |
| 500 | 253,4 | 20,0 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 25,8 | 1,78 | 31,9 | 2934 |
| 600 | 304,0 | 22,0 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 28,0 | 1,78 | 34,1 | 3449 |
| 750 | 380,0 | 24,6 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 30,6 | 1,78 | 36,7 | 4204 |
| 1000 | 506,7 | 28,4 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 34,4 | 1,78 | 40,5 | 5449 |

Fuente: CENTELSA (2015).

Tabla 8. Conductor de Aluminio 5 KV - 100% / 133%.

| Conductor | | | Aislamiento | | | | Chaqueta | | Masa total aprox. |
|-----------|--------|----------|-------------|---------|--------|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| Calibre | Área | Diámetro | Espesor | | | Diámetro sobre aislamiento | Espesor mínimo* | Diámetro total aprox. | |
| | | | Mínimo* | Nominal | Máximo | | | | |
| AWG/kcmil | mm² | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | kg/km |
| 2 | 33,6 | 6,81 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 12,4 | 1,40 | 17,2 | 350 |
| 1 | 42,4 | 7,60 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 13,2 | 1,40 | 18,0 | 389 |
| 1/0 | 53,5 | 8,55 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 14,1 | 1,40 | 18,9 | 439 |
| 2/0 | 67,4 | 9,57 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 15,2 | 1,40 | 20,0 | 499 |
| 3/0 | 85,0 | 10,8 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 16,4 | 1,78 | 22,0 | 613 |
| 4/0 | 107 | 12,1 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 17,7 | 1,78 | 23,3 | 704 |
| 250 | 126,7 | 14,2 | 2,16 | 2,55 | 3,05 | 20,5 | 1,78 | 26,1 | 837 |
| 300 | 152,0 | 15,5 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 21,3 | 1,78 | 26,9 | 917 |
| 350 | 177,3 | 16,8 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 22,6 | 1,78 | 28,2 | 1018 |
| 400 | 202,7 | 17,9 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 23,7 | 1,78 | 29,3 | 1115 |
| 500 | 253,4 | 20,0 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 25,8 | 1,78 | 31,9 | 1334 |
| 600 | 304,0 | 22,0 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 28,0 | 1,78 | 34,1 | 1530 |
| 750 | 380,10 | 24,6 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 30,6 | 1,78 | 36,7 | 1806 |
| 1000 | 506,7 | 28,4 | 2,16 | 2,29 | 3,05 | 34,4 | 1,78 | 40,5 | 2251 |

* Espesor de aislamiento o chaqueta mínimo en un punto. Fuente: CENTELSAS, s.f.

4.1.7 Ventajas de líneas protegidas de forma aisladas de media tensión.

- Cable mensajero con función de protección mecánica: Protege de la caída de ramas y objetos.
- Cable mensajero con función de protección eléctrica: Atenuación ante descargas atmosféricas.
- Empleo de espaciadores poliméricos: Menor posibilidad de que se rompa el conductor y llegue al suelo.
- Compactación de la red: Menor impedancia mutua (reducción ΔV de hasta 20%).
- Conductores cubiertos operando a 90 °C: Red más económica para la misma capacidad MVA.
- Conductores cubiertos con muy buen comportamiento contra la erosión paulatina (provocada por contacto accidental con ramas de árboles u otras

partes puestas a tierra): Permiten la continuidad del servicio aún en el caso de caída de la línea.

- Conductores cubiertos que eliminan las fallas fugitivas o transitorias: Mejoran la calidad de servicio y permiten reducir la altura de los postes o aumentar el despeje al suelo.
- Reducción de costos operativos: Menor tasa de fallas. “Inspección programada” en vez de “Intervención de Emergencia”.

4.2 GESTIÓN DE LA CALIDAD DE UN PROYECTO SEGÚN PMBOK

Una de las actividades importantes de tener en cuenta en la ejecución de un proyecto es el mejoramiento de calidad del servicio a los usuarios para actualizar el actual esquema de distribución local SDL a una nueva tecnología de redes de cableado XLPE trenzado reticulado, es el aseguramiento de calidad y de la mejora continua del proceso, es por esta razón que para el desarrollo oportuno se debe realizar una planeación adecuada, que integre todos y cada uno de los requerimientos que contribuyan y satisfagan las necesidades para las que fue acometido.

Para este caso es apropiado conocer políticas y procedimientos para implementar el sistema de gestión de la calidad que aporten al progreso de la ejecución de los proyectos, teniendo en cuenta las pautas que propone la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), en la cual se compone de tres procesos: Planificar la Gestión de la Calidad, Realizar el Aseguramiento de Calidad y Controlar la Calidad.

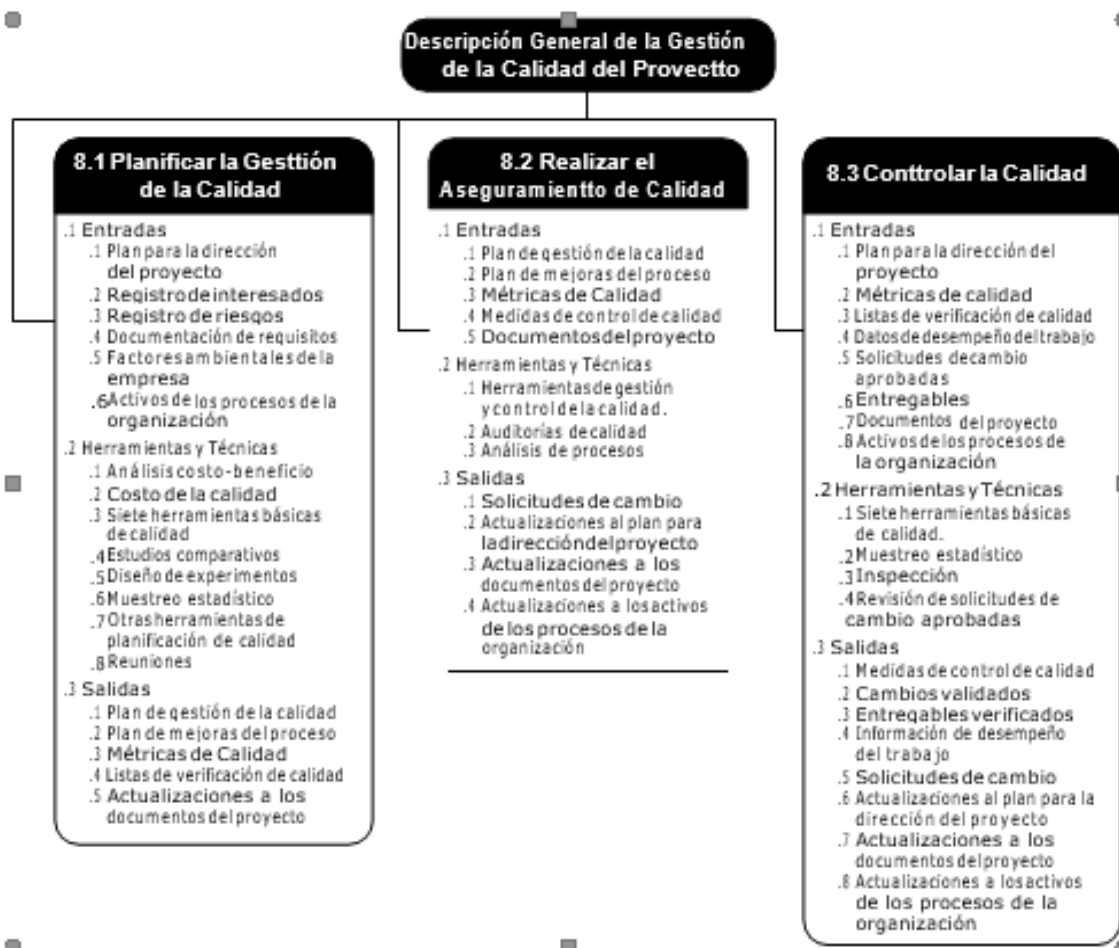
Los enfoques de gestión de la calidad buscan minimizar las desviaciones y proporcionar resultados que cumplan con los requisitos especificados y reconocen la importancia de:

- La satisfacción del cliente: Entender, evaluar, definir y gestionar los requisitos

de modo que su uso del producto o servicio deba satisfacer necesidades reales.

- La prevención antes que la inspección: Debe ser planificada, diseñada y construida, es decir, prevenir errores y detectarlos por una inspección.
- La mejora continua: El ciclo planificar – hacer – verificar – actuar (PDCA) es la base para la mejora de la calidad, como se pueden utilizar otros modelos de procesos de calidad.
- Responsabilidad de la Dirección: La dirección es la principal responsable de la calidad de proporcionar los recursos adecuados con las capacidades apropiadas.

Figura 9. Gestión de la calidad



Fuente: autor.

Costo de la Calidad (COQ): Es el costo total conforme y del trabajo no conforme que se deberá realizar para la calidad a lo largo del ciclo de vida del entregable.

Figura 9. Descripción General de la Gestión de la Calidad del Proyecto.

4.2.1 Planificar la gestión de la calidad

Este proceso proporciona el direccionamiento de cómo se debe gestionar la calidad del servicio a lo largo del proyecto, se identifica los requisitos de calidad, sus entregables y de documentar el cumplimiento de los mismos.

4.2.1.1 Entradas

1. Plan para la Dirección del Proyecto: En este proceso de desarrollo se incluye entre otra:

- La línea base del alcance. Se incluye el Enunciado, la Estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS), Diccionario de la EDT/WBS.
- Línea base del cronograma. Documenta las medidas aceptadas del desempeño del cronograma, incluidas las fechas de inicio y finalización.
- Línea base de costos. Es el intervalo de tiempo aceptado que se va a utilizar para medir el desempeño en términos de costos.
- Otros planes de gestión. Contribuyen a la calidad global y resaltar áreas de acción en el proyecto.

2. Registro de Interesados: Es la identificación de aquellos que tienen un interés específico.

3. Registro de Riesgos: Contiene amenazas y oportunidades que pueden afectar la calidad del proyecto.

4. Documentación de Requisitos: Recoge los requisitos que debe cumplir el proyecto en relación con las expectativas de los interesados.

5. Factores Ambientales de la Empresa: Hacen referencia a condiciones que no están bajo el control del equipo del proyecto y que influyen, restringen o dirigen el proyecto. Incluyen entre otros: Las normativas de las agencias gubernamentales; Las reglas, estándares y guías específicas para el área de aplicación; Las condiciones de trabajo u operativas del proyecto o de sus entregables que pueden afectar a la calidad del proyecto.

6. Activos de los Procesos de la Organización: Son los planes, los procesos, las políticas, los procedimientos y las bases de conocimiento específicos de la empresa.

4.2.1.2 Herramientas y Técnicas

1. Análisis Costo-Beneficio: Los principales beneficios de cumplir con los requisitos de calidad incluyen menos re trabajo, mayor productividad, costos menores, mayor satisfacción de los interesados y mayor rentabilidad. La realización de un análisis costo-beneficio para cada actividad de calidad permite comparar el costo del nivel de calidad con el beneficio esperado.

2. Costo de la Calidad (COQ): Incluye todos los costos en los que se ha incurrido durante la vida del producto a través de inversiones para prevenir el incumplimiento de los requisitos.

3. Siete Herramientas Básicas de Calidad: También conocidas en la industria como Herramientas 7QC. Son las siguientes:

- Diagramas causa efecto, se conocen también como diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa. El enunciado del problema, colocado en la cabeza de la espina de pescado, se utiliza como punto de partida para trazar el origen del problema hacia su causa raíz.
- Diagramas de Flujo, también llamadas mapa de procesos, porque muestran la secuencia de pasos y las posibilidades de ramificaciones que existen en un proceso que transforma una o más entradas en una o más salidas.

- Las hojas de verificación, también conocidas como hojas de control, se pueden utilizar como lista de comprobación a la hora de recoger datos.
 - Los diagramas de Pareto son una forma particular de un diagrama de barras verticales y se utilizan para identificar los defectos encontrados por cada causa identificada.
 - Los histogramas son una forma especial de diagrama de barras y se utilizan para describir la tendencia central, dispersión y forma de una distribución estadística y no tiene en cuenta la influencia del tiempo en la variación existente en la distribución.
 - Los diagramas de control se utilizan para determinar si un proceso es estable o tiene un comportamiento de variaciones.
 - Los diagramas de dispersión Es la relación entre dos variables para determinar si están relacionadas. A mayor concentración de puntos en una línea diagonal. mayor será su relación.
4. Estudios Comparativos: Implican comparar prácticas reales o planificadas del proyecto con las de proyectos comparables para identificar las mejoras prácticas, generar ideas de mejora y proporcionar una base para medir el rendimiento.
5. Diseño de Experimentos: Es un método estadístico para identificar qué factores pueden influir en variables específicas de un producto o proceso en desarrollo o en producción.
6. Muestreo Estadístico: Consiste en seleccionar unos elementos (muestra) de un grupo de datos (población), a los cuales se les inspeccionará la calidad.
7. Herramientas Adicionales de Planificación de Calidad: Se incluyen entre otros: Tormenta de ideas; Diagramas de afinidad; Análisis de campos de fuerza; Técnicas de grupo nominal; Diagramas matriciales; Matrices de priorización.

8. Reuniones: Los equipos de proyecto pueden celebrar reuniones de planificación para desarrollar el plan de gestión de la calidad. Los participantes pueden ser: El director del proyecto, el patrocinador del proyecto, determinados miembros del equipo del proyecto, determinados interesados, cualquier persona que tenga responsabilidades relativas a las actividades de la Gestión de la Calidad del Proyecto.

4.2.1.3 Salidas

1. Plan de Gestión de Calidad: Puede ser formal o informal, detallado o formulado de manera general.
2. Plan de Mejoras del Proceso: A los procesos existentes se les debe hacer mejoras, para que estos sean más eficientes y se eviten problemas.
3. Métricas de Calidad: Una medida es un valor real. Se emplean en los procesos de realizar el aseguramiento de calidad y de controlar la calidad. Algunos ejemplos serían el índice de puntualidad, el control del costo, la frecuencia de defectos, la tasa de fallas, la disponibilidad, la confiabilidad y la cobertura de las pruebas.
4. Listas de Verificación de Calidad: Es una herramienta estructurada, que se utiliza para verificar que se hayan llevado a cabo una serie de pasos necesarios. Pueden ser sencillas o complejas, en función de los requisitos y prácticas del proyecto.
5. Actualizaciones a los Documentos del Proyecto: Incluyen entre otros: Registro de interesados y Matriz de responsabilidades.

4.3 REALIZAR EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

Es el proceso de auditar los requisitos de calidad y los resultados obtenidos a partir de las medidas de control de calidad, a fin de garantizar que se utilicen los

estándares de calidad y las definiciones operativas adecuadas. Implementa un conjunto de acciones y procesos planificados y sistemáticos que se definen en el plan de gestión de la calidad del proyecto.

Realizar el Aseguramiento de Calidad cubre la mejora continua del proceso, es un medio que facilita la mejora de calidad de todos los procesos. Ayuda a reducir las pérdidas y elimina las actividades que no agregan valor. Esto permite que los procesos operen con niveles más altos de eficacia y eficiencia.

4.3.1 Entradas

1. Plan de Gestión de la Calidad: Describe los enfoques del aseguramiento de la calidad y de la mejora continua de procesos para el proyecto.
2. Plan de Mejoras del Proceso: Proporcionar apoyo y ser coherentes con los planes de mejora de procesos de la empresa ejecutora.
3. Métricas de Calidad: El gerente del proyecto debe determinar las áreas que se desean medir y determinar los valores aceptables de la medición.
4. Mediciones de Control de Calidad: Son los resultados de las actividades de control de calidad. Se emplean para analizar y evaluar la calidad de los procesos del proyecto respecto a los estándares de la empresa ejecutora.
5. Documentos del Proyecto: Influyen en el trabajo de aseguramiento de la calidad y deben ser controlados en el ámbito de un sistema de gestión de la configuración.

4.3.2 Herramientas y Técnicas

1. Herramientas de Gestión y Control de Calidad: Se utilizan las herramientas y técnicas de los procesos de planificar la gestión de calidad y controlar la calidad. Existen además otras herramientas:

- Diagramas de Afinidad: Es similar a las técnicas de mapas mentales, se utilizan para generar ideas que se pueden enlazar para formar patrones organizados de pensamiento sobre un problema.
- Gráficas de programación de decisiones de proceso (PDPC): Se utilizan para comprender una meta en relación con los pasos necesarios para alcanzarla, es un método útil para la elaboración de planes de contingencia y ayuda a los equipos a anticipar pasos intermedios que puede desviarnos del logro de la meta.
- Dígrafos de interrelaciones: Son una adaptación de los diagramas de relaciones. Proporcionan un proceso para la resolución creativa de problemas en escenarios complejos que poseen relaciones lógicas interconectadas con hasta 50 elementos relevantes.
- Diagramas de Árbol: Se conocen también como diagramas sistemáticos, se pueden utilizar para representar las descomposiciones jerárquicas tales como la EDT/WBS, la RBS (estructura de desglose de riesgos) y la OBS (estructura de desglose de la empresa).
- Matrices de Priorización: Identifica los problemas clave y las alternativas adecuadas a priorizar como un conjunto de decisiones de implementación.
- Diagramas de Red de la Actividad: Anteriormente se llamaban diagramas de flechas. Se utilizan conjuntamente con otras metodologías de programación de proyectos tales como la técnica de evaluación y revisión del programa (PERT), el método de la ruta crítica (CPM) y el método de diagramación por precedencia (PDM).
- Diagramas Matriciales: Es una herramienta para la gestión y el control de la calidad que se utiliza para efectuar análisis de datos dentro de la estructura organizacional creada en la matriz.

4.3.3. Auditorías de Calidad

Es un proceso estructurado e independiente que determina si las actividades del proyecto cumplen con las políticas, los procesos y los procedimientos de la

empresa. Pueden ser programadas o aleatorias y pueden ser realizadas por auditores internos o externos.

4.3.3.1. Salidas

1. Solicitudes de cambio: Se utilizan para realizar acciones correctivas preventivas o para proceder a la reparación de defectos.
2. Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto: Se incluyen entre otros. El plan de gestión de la calidad, plan de gestión del alcance, plan de gestión del cronograma y plan de gestión de los costos.
3. Actualizaciones a los documentos del proyecto: Se incluyen entre otros. Informes de auditorías de calidad, Planes de formación y Documentación del proceso.
4. Actualizaciones a los activos de los procesos de la organización: Se incluyen entre otros. Los estándares de calidad y el sistema de gestión de calidad.

4.3.4 Controlar la Calidad.

Es el proceso de monitorear y registrar los resultados de la ejecución de las actividades de calidad, a fin de evaluar el desempeño y recomendar los cambios necesarios.

4.3.4.1 Entradas

1. Plan para la Dirección del Proyecto: El plan para la dirección del proyecto contiene el plan de gestión de la calidad, que se utiliza para controlar la calidad.
2. Métricas de Calidad: Describe un atributo del proyecto o del producto, y la manera en que se medirá. Ejemplos se incluyen: puntos de función, tiempo medio entre fallas (MTBF), y tiempo medio de reparación (MTTR).

3. Listas de Verificación de Calidad: Son listas estructuradas que sirven para comprobar que tanto el trabajo del proyecto como sus entregables cumplen una serie de requisitos.
4. Datos de Desempeño del Trabajo: Permite evaluar el avance real versus en el desempeño técnico, del cronograma y del costo planificado.
5. Solicitudes de Cambio Aprobadas: Se pueden incluir modificaciones entre ellos la reparación de defectos, la revisión de métodos de trabajo y la revisión del cronograma.
6. Entregables: Un entregable es un producto, resultado o capacidad única y verificable, que se materializa en un entregable validado requerido por el proyecto.
7. Documentos del Proyecto: Se incluyen entre otros: Acuerdos; Informes de auditoría de calidad y registros de cambios, apoyados por planes de acciones correctivas; Planes de formación y evaluaciones de eficacia y Documentación del proceso, obtenida mediante la utilización de las siete herramientas básicas de calidad o de las herramientas de gestión y control de calidad.
8. Activos de los Procesos de la Empresa: Se incluyen entre otros: Los estándares y políticas de calidad; Pautas de trabajo y Los procedimientos de generación de informes y políticas de comunicación.

4.3.4.2 Herramientas y Técnicas.

1. Siete Herramientas Básicas de Calidad: Son: Diagramas causa – efecto; Diagramas de flujo; Las hojas de verificación; Los diagramas de pareto; Los histogramas; Los diagramas de control y los diagramas de dispersión.
2. Muestreo Estadístico: Consiste en seleccionar unos elementos (muestra) de un grupo de datos (población), a los cuales se les inspeccionará los defectos reparados.

3. Inspección: Consiste en el examen del producto de un trabajo para determinar si cumple con los estándares documentados. También se utilizan para validar las reparaciones de defectos.

4. Revisión de Solicitudes de Cambio Aprobadas: Deben ser revisados para verificar que se implementaron tal como fueron revisados.

4.3.4.3 Salidas

1. Mediciones de Control de Calidad: Son los resultados documentados de las actividades de control de calidad.

2. Cambios Validados: Cualquier elemento que haya sido cambiado o reparado deberá ser inspeccionado y deberá ser aceptado o rechazado antes de emitir una notificación de la decisión.

3. Entregables Verificados: Los entregables validados constituyen el resultado de la ejecución del proceso Controlar la Calidad.

4. Información de Desempeño del Trabajo: Consiste en los datos de desempeño recopilados de varios procesos de control, analizados en contexto e integrados sobre la base de las relaciones entre áreas.

5. Solicitudes de Cambio: Si las acciones correctivas o preventivas recomendadas o la reparación de un defecto requieren un cambio del plan para la dirección del proyecto.

6. Actualizaciones al Plan para la Dirección del Proyecto: Se pueden requerir para actualizar el plan de gestión de calidad y el plan de mejoras del proceso.

7. Actualizaciones a los Documentos del Proyecto: Se incluyen entre otros. Estándares de calidad; Acuerdos; Informes de auditoría de calidad y registros de cambios; Planes de formación y evaluaciones de eficacia y Documentación del proceso del proyecto.

8. Actualizaciones a los Activos de los Procesos de la Empresa: Se incluyen entre otros: Listas de verificación completas y Documentación sobre lecciones aprendidas (Project Management Institute, 2013).

EL proyecto está localizado en el centro histórico de la ciudad de Cartagena en la calle santa Teresa # 32 – 41.

5.1.1 Actividades de sistema eléctrico de media tensión con suministro de cableado XLPE:

5.1.1.1 Actividad 1. Suministro e instalación de media tensión para interconexión de celdas.

Alcance es el suministro e instalación de Cable XLPE #2 AWG 15 KV 100% de aislamiento para interconexión interna entre celdas de media tensión.

Descripción de la Actividad: El contratista deberá suministrar e instalar las acometidas de media tensión entre cada una de las celdas de media tensión y a su vez con el transformador de potencia, se deberá tener en cuenta toda herramienta menor y accesorios para llevar a cabo la actividad. Los conductores de media tensión serán en cable de cobre electrolítico de temple suave, aislado con polietileno reticulado termoestable (XLPE) para alto voltaje, pantalla semiconductora en polietileno extruido, pantalla electrostática constituida por hilos o cinta de cobre electrolítico colocados en forma helicoidal, chaqueta exterior de polivinilo especial para intemperie sobre la cual deben estar impresas a todo lo largo del cable las características del mismo.

Los conductores de media tensión deberán estar especificados, como mínimo, para un nivel de aislamiento del 100%, tensión de operación de 15 KV y temperatura de operación de 90 grados centígrados.

Procedimiento de Instalación y Montaje: El tendido de los cables debe efectuarse siguiendo los procedimientos estipulados en la Norma NTC 2050. Código Eléctrico Nacional y NFPA - 70, así como las instrucciones del fabricante.

Los esfuerzos mecánicos que soporta un cable durante la instalación no deben sobrepasar los límites elásticos del conductor ni exceder la presión lateral permisible

sobre el aislamiento o chaqueta del cable.

Todos los conductores deben ser continuos en su recorrido, no se aceptarán empalmes intermedios en las acometidas, por lo tanto, el cableado se deberá medir con la exactitud requerida teniendo en cuenta la cantidad de curvas en el recorrido y la longitud necesaria para arreglo, presentación y su conexonado.

Para el tendido de conductores en ductos, los Conduit se limpiarán adecuadamente y quedarán libres de obstrucciones antes de la instalación.

Antes de iniciar el halado de cables se deben hacer chequeos iniciales de continuidad y medida de la resistencia de aislamiento.

El contratista suministrará los equipos necesarios para realizar pruebas de aislamiento y continuidad de todos los cables que se van a instalar en el proyecto. Así mismo se debe incluir los terminales en los cableados de media tensión.

Medida y Forma de Pago: La medida y pago corresponde al valor por metro lineal (ml) de conductor eléctrico de media tensión suministrada, tendido y halado en los diferentes tipos y calibres, especificados, y recibidos a satisfacción por el cliente.

El pago incluye las pruebas tipo y de rutina, la identificación, el suministro e instalación de terminales de conexión y marcación, el embalaje, el cargue, el descargue, el transporte hasta el sitio de la obra, el almacenaje, la custodia y todos los recursos humanos y físicos como personal, herramientas y equipos, necesarios para realizar los trabajos.

El pago se hará al costo unitario más Gastos de Administración, Imprevistos y Utilidad (A. U. I) establecidos en el contrato.

Fabricantes sugeridos: Nexans, Procables, Centelsa. O su equivalente, siempre y cuando se comprueben certificados de calidad de los conductores propuestos.

5.1.1.2 Actividad 2. Suministro e instalación de juegos de terminales premoldeadas de media tensión para instalación interior conductor de media tensión de 15 KV.

Alcance es el suministro e instalación de juegos de terminales premoldeadas tipo interior en frío de media tensión para cable XLPE # 2 AWG, 15 KV 100% Marca 3M, QT3.

Descripción de la Actividad: El contratista deberá suministrar e instalar las terminales premoldeadas para realizar la interconexión de las acometidas de media tensión entre cada una de las celdas de media tensión y a su vez con el transformador de potencia, se deberá tener en cuenta toda herramienta menor y accesorios con los terminales de ponchar y los kits de limpieza para llevar a cabo la actividad.

Procedimiento de Instalación y Montaje: Se deben instalar las terminales siguiendo al pie de la letra las indicaciones del fabricante, el personal que instalará las terminaciones deberá tener certificación de aptitud para la instalación de las terminaciones.

Medida y Forma de Pago: La medida y pago corresponde al valor por unidad de Juego de terminales premoldeadas instalado, y recibidos a satisfacción por el cliente.

El pago incluye la preparación, la identificación, el suministro e instalación de terminales de conexión y marcación, el embalaje, el cargue, el descargue, el transporte hasta el sitio de la obra, el almacenaje, la custodia y todos los recursos humanos y físicos como personal, herramientas y equipos, necesarios para realizar los trabajos.

El pago se hará al costo unitario más Gastos de Administración, Imprevistos y Utilidad (A.U.I) establecidos en el contrato.

Fabricantes sugeridos: Las terminaciones serán adecuadas para uso interior y serán de las siguientes marcas: Terminación contráctil en Frío Tipo QTIII de 3M, Baychem, y Thomas And Betts. No se recibirán terminales si no son de una de las marcas propuestas (Cámara de comercio de Cartagena, 2018).

6. DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE LAS REDES ELÉCTRICAS

6.1 DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE versión 2013 actualizado con sus ajustes en el Artículo 13:



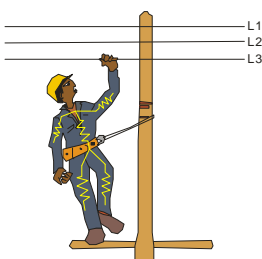
Frente al riesgo eléctrico la técnica más efectiva de prevención, siempre será guardar una distancia respecto a las partes energizadas, puesto que el aire es un excelente aislante, en este apartado se fijan las distancias mínimas que deben guardarse entre líneas o redes eléctricas y elementos físicos existentes a lo largo de su trazado (carreteras, edificaciones, piso del terreno destinado a sembrados, pastos o bosques, etc.), con el objeto de evitar contactos accidentales. Siempre se debe de guardar una distancia respecto a las partes energizadas, se fijan las distancias mínimas que deben guardarse entre líneas o redes eléctricas y elementos físicos existentes a lo largo de su trazado sean en (carreteras, edificaciones, piso del terreno destinado a sembrados pastos o bosques, etc.) (Colombia, Ministerio de minas y energía, 2013, pág. 57).

“Las distancias verticales y horizontales se adoptaron de la norma ANSI C2; todas las tensiones dadas en estas tablas son entre fases” (Colombia, Ministerio de minas y energía, 2013). Las distancias verticales y horizontales que se presentan se adoptan de la norma ANSI C2: Esta norma es a nivel internacional, nos habla de las distancias mínimas entre edificaciones y las redes de distribución de energía eléctrica, garantizando la seguridad de las personas y los bienes así como la calidad del servicio. Teniendo en cuenta esta norma podemos evitar accidentes eléctricos directos e indirectos, pero estamos expuestos siempre a cualquier riesgo por ignorancia, imprudencia, desconocimiento, falta de preparación, negligencia, seguridad técnica y personal; ya que el mayor número de accidentes se produce por fallas del hombre, más que por fallas técnicas (Empresas publicas de Medellin, 2005).

6.2 FACTORES DE RIESGOS MÁS COMUNES


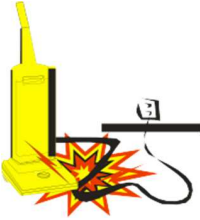
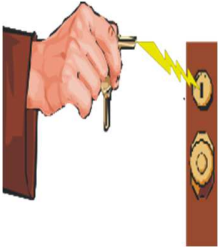


Las instalaciones eléctricas tienen implícito un riesgo, es difícil controlarlos de forma permanente. A continuación se muestra algunos factores, que al no tenerlos presente ocasionan la mayor cantidad de accidentes. Identificando el riesgo y sus posibles causas se pueden tomar las medidas preventivas.

Tabla 9. Factores de riesgos más comunes en las instalaciones eléctricas

| | |
|---|--|
|  | <p>ARCOS ELÉCTRICOS.</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores con carga, apertura de transformadores de corriente, potencia con carga, apertura de transformadores de potencia con carga sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar prendas acordes con el riesgo y gafas de protección contra rayos ultravioleta.</p> |
|  | <p>AUSENCIA DE ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Apagón o corte del servicio no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia – ups, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia. Por ejemplo. Lugares donde se exijan plantas de emergencia como hospitales y aeropuertos.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.</p> |
|  | <p>CONTACTO DIRECTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos. Violación de las distancias mínimas de seguridad.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento.</p> |

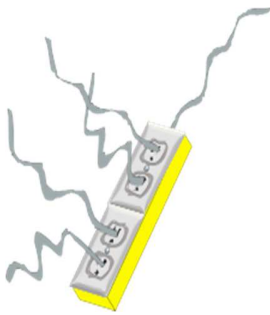
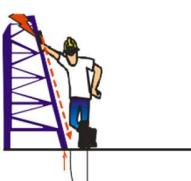
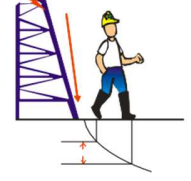
Fuente: Colombia, Ministerio de minas y energÍA. (2013). Reglamento Interno de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

Tabla 9. Factores de riesgos más comunes en las instalaciones eléctricas (Contin.)

| | |
|---|---|
|  | <p style="text-align: center;">CONTACTO INDIRECTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">CORTOCIRCUITO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo máxima corriente o cortocircuitos fusibles.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">ELECTRICIDAD ESTÁTICA</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Sistema de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">EQUIPO DEFECTUOSO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">RAYOS</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas en el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados. Además suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.</p> |

Fuente: Colombia, Ministerio de minas y energía. (2013). Reglamento Interno de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

Tabla 9. Factores de riesgos más comunes en las instalaciones eléctricas (Contin.)

| | |
|---|--|
|  | <p style="text-align: center;">SOBRECARGA</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos, no controlar el factor de potencia.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Uso de interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortocircuitos, cortocircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">TENSIÓN DE CONTACTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">TENSIÓN DE PASO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p> |

Fuente: Colombia, Ministerio de minas y energía. (2013). Reglamento Interno de Instalaciones Eléctricas – RETIE

Evaluando en el país de Colombia el impacto económico y social en el mejoramiento de la calidad del servicio para el cambio de actualización a redes de cableado eléctrico aislado en XLPE; se debe llevar a cabo revisiones en los cableados eléctricos con mayor frecuencia si se le da un uso intensivo. La demanda eléctrica actual supera a la de hace décadas; con el pasar de los años las casas se han venido remodelando efectuando edificaciones de más pisos, en la cual afecta las distancias de seguridad a las redes de baja y media tensión; además en la mayoría de las instalaciones para suministro eléctrico permanecen intactas, con componentes antiguos y hasta deteriorados. Lo cierto es que esto se convierte en un peligro para los usuarios que no tienen en cuenta la normatividad establecida en

Colombia según el Reglamento Interno de Instalaciones Eléctricas – RETIE, encierran este tipo de distancia de seguridad a redes energizadas.

En lo económico las empresas requieren de la realización de grandes inversiones de capital de complicados estudios y de la aplicación de normas nacionales e internacionales muy concretas, del empleo de una variedad de conceptos de Ingeniería Eléctrica, de la investigación sobre materiales más económicos y eficientes, y el mantenimiento riguroso en satisfacer la demanda real de energía con muy buena calidad, beneficiándose en última instancia las empresas generadoras del servicio.

El sector eléctrico colombiano se ha convertido en uno de los más fuertes en la economía nacional. En 1995 se creó la Bolsa de Energía, donde se realizan las operaciones comerciales entre agentes que participan en los negocios de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica (Restrepo Londoño & Sepúlveda Rivillas, 2016).

Según los proyectos de mantenimiento de redes abiertas descubiertas, innovando a redes trenzadas aisladas para niveles de tensión en baja y media tensión en Colombia; mi opinión es garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, se cumplan de acuerdo al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, con la protección de la vida y la salud humana, la protección de la vida animal y vegetal, la preservación del medio ambiente y la prevención de prácticas que pueden inducir a error al usuario. Instalando y renovando las redes eléctricas en nueva tecnología de cableado XLPE trenzado, esto permite la reducción de accidentes por contacto directo o indirecto con partes energizadas, ya que algún incidente que se pueda presentar no se convertiría en un accidente de electrocución y su distancia de seguridad sería mínima o cero.

Las empresas de energía eléctrica en Colombia están en un mercado bastante competitivo y la hacen estar en continuo plan de proyectos de remodelación en la

búsqueda de diferentes alternativas de solución y estrategias, en aumentar la eficiencia en el planteamiento, diseño, construcción y operación de las redes con tendencia hacia la automatización e innovación de tecnología de punta y de calidad, y así lograr importantes posicionamientos en los mercados regionales, nacionales y en Latinoamérica.

7. CONCLUSIONES

Las entidades certificadoras e inspectores tienen la obligación de hacer énfasis en la verificación de los requisitos establecidos por el Reglamento Interno de Instalaciones Eléctricas – RETIE, y el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, de todos los productos que componen una instalación eléctrica (los cables y conductores eléctricos) ya que son el medio para el transporte de la energía eléctrica que inciden la seguridad de los operadores y usuarios.

Debido a la ausencia en el país de las redes de cableado XLPE trenzado de forma aislada para voltajes de baja y media tensión y su falta de información, a través de este estudio la Electrificadora de Santander, está en constante cambio de actualización y en el mejoramiento de la calidad del servicio a sus usuarios.

Al instalar las redes de cableado XLPE trenzado, se debe guardar las distancias de seguridad establecidas, ya que el cable protegido no evita descargas eléctricas, pero elimina la electrocución cuando se presente algún toque accidental de una persona a dicha red.

Mediante las pruebas realizadas en laboratorios se ha comprobado las características del cable XLPE trenzado dadas tanto por los fabricantes como por los proveedores; garantizando así su correcto funcionamiento y buscando medir el grado de reticulación de material de aislamiento, es adecuado para medios húmedos y secos, es resistente a los esfuerzos mecánicos durante la instalación y operación del cable, además contiene componentes resistentes a la llama, a los rayos ultravioleta y condiciones ambientales.

Los cables XLPE se clasifican por su temperatura de operación para 70°C a 90°C, en condiciones de sobrecarga de emergencia el cable protegido soporta

temperatura de 130°C y en condiciones de cortocircuito por cuestión de tiempo de segundos, la temperatura que podría soportar es de 250°C.

8. RECOMENDACIONES

Instalar cableado XLPE trenzado a los usuarios da una alta confiabilidad en el suministro de energía, ya que elimina de forma significativa fallas por toque de ramas, animales y vientos fuertes.

Al armar redes de cableado XLPE trenzado se sugiere tomar en cuenta las distancias de seguridad y cuidado de no tocar la red energizada.

Situar la red de cableado eléctrico XLPE en lugares donde exista un alto riesgo de que personas, toque accidentalmente las redes de Baja y Media Tensión, debido que presenta una corriente de descarga tolerable para el cuerpo humano.

9. REFERENCIAS

- Area tecnología. (2015). *Cables electricos y tipos*. Obtenido de www.areatecnologia.com/electricidad/cables-conductores.html
- Ávila, I. T., Ochoa, Y., & Soliz, N. (2014). Comparación de la formación de carga eléctrica en aislamientos de XLPE con antioxidantes sólido y líquido mediante la técnica TSDC. . *Enfoque UTE*, 5(4), 89-98.
- Bolund, B., & Bernhoff, J. (2007). Flywheel energy and power storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(2), 235-258.
- Borbor, A. (2015). *Análisis de factores que inciden para la elaboración de los cables de media tensión MV 90 TR XLPE TS-WS de la Empresa Electrocables en la ciudad de Guayaquil (tesis ingeniería Industrial)*. Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17761>
- Cables para energía y telecomunicaciones S.A CENTELSA. (2008). *Cables y Tecnología*. Obtenido de Boletín Técnico - Abril : <http://www.centelsa.com.co/archivos/8e6cebf3.pdf>
- Cámara de comercio de Cartagena. (2018). *Suministro e instalación de una subestación eléctrica para la cámara de comercio de cartagena*. Obtenido de http://www.cccartagena.org.co/sites/default/files/contratacion/tdr_suministro_e_instalacion_de_sub_estacion_electrica_sede_centro_2018.pdf
- Carrasco, J., Franquelo, L., & Bialasiewicz, J. (2006). Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 53(4), 1002-1016.
- Castaño, S. (2004). *Redes de distribución de energía*. Obtenido de Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- CENTELSA. (2015). *Valores típicos de las temperaturas en compuestos termoplásticos y termoestables usados en la fabricación de cables*. Obtenido de www.centelsa.com.co/archivos/Plegable%20XHHW%20RHH.pdf
- CENTELSA. (s.f.). *Cables para Media y Alta Tensión con aislamiento en triple extrusión y curado en seco fabricado por CENTELSA*. Obtenido de

Nalaelectricos: <https://www.nalaelectricos.com.co/archivos/Centelsa-cables-para-media-y-alta-tension.pdf>.

Chabni, F. (2012). *Instalación eléctrica de un complejo hospitalario (tesis Ingeniería Eléctrica)*. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Colombia, Ministerio de minas y energía. (2013). *Reglamento Interno de Instalaciones Eléctricas – RETIE*.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG . (2000). *Resolución 159: Primera etapa de opción tarifaria por el incumplimiento en los estándares de calidad*. Bogota.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG. (1998). *Resolución 070: Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica*. Santa fe de Bogota.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG. (2000). *Resolución 096: Período de Transición de que trata el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica Colombia*. Santa fe de Bogotá.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG. (2001). *Resolución 159: Primera etapa de opción tarifaria por el incumplimiento en los estándares de calidad*. Santa fe de Bogotá.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG. (2008). *Resolución 097. Reglamento de distribución de energía eléctrica* . Santa fe de Bogotá.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG. (2017). *Resolución 019 de 2017: Por la cual s eestablece la metodología para la remuneración de la actividad de distribuciónde energía eléctrica en el sistema interconectado nacional*. Santa fe de Bogotá. Obtenido de

[http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/432f91ab604ed99b052580df0051e4a8/\\$FILE/Creg019-2017.pdf](http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/432f91ab604ed99b052580df0051e4a8/$FILE/Creg019-2017.pdf)

- Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de regulación de energía y gas CREG. (1999). *Resolución 025: Indicadores de Calidad DES y FES*. Santa fe de Bogota.
- Congreso de Colombia. (1994). *Ley 142 y 143 que establece los servicios públicos domiciliarios*. Bogota: Diario oficial.
- Editores S.R.L. (2017). Cables y conductores: Energía y medioambiente . *Revista Ingeniería Eléctrica*(318). Obtenido de http://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie318_cimet_energia_medioambiente.pdf
- Empresas publicas de Medellin. (2005). *Distancias minimas de seguridad de conductores de energia*. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_8_normas_tecnicas/RA8-040_000.pdf
- Espinoza, S. (2010). *Los proyectos de inversión: evaluación financiera*. Editorial Tecnologica de CR.
- Estrada, C., Elam, D., & Gracia Villar, S. (2012). *El recalentamiento eléctrico por termoconducción. Una perspectiva fisicoquímica del calentamiento eléctrico*. Obtenido de <http://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/2372>
- Flórez, M. (2006). *Localización de faltas en sistemas de distribución de energía eléctrica usando métodos basados en el modelo y métodos basados en el conocimiento*. Obtenido de <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/4925>
- Harper, .. E. (2006). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. Limusa.
- Inducor Ingeniería S. A. (2010). *Cables de media y alta tension el polietileno reticulado y los subproductos no deseados*. Obtenido de <http://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/cables-de-media-y-alta-tension-el-polietileno-reticulado-los-subproductos-no-deseados.pdf>
- Mass, A. (1994). *Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución*. Santiago de Chile: Paidos.
- Pessanha, A., Rocha, M., & Da Silva, A. (2011). Introdução de ligações cruzadas no LLDPE através de processo de extrusão reativa de graftização do vinil-

- trimetóxi-silano (VTMS) na cadeia polimérica: efeito das condições de processamento e do sistema reacional. *Polímeros*, 21(1), 53-58.
- Productos Vulcanizados S.A. (2011). *¿Qué diferencia hay entre los aislamientos de XLPE y EPR?* Obtenido de <https://propol.wordpress.com/2009/07/16/%C2%BFque-diferencia-hay-entre-los-aislamientos-de-xlpe-y-epr>
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®)*. Project Management Institute. Obtenido de <http://gestionandote.org/descarga-gratis-pmbok-espanol-guia-los-fundamentos-la-direccion>
- Rendón, J., & Hinestroza, A. (2011). Determinantes del precio de la energía eléctrica en el mercado no regulado en Colombia. *Revista Ciencias Estratégicas*, 19(26), 225-246.
- Rendon, M., & López, A. (2008). *Manual para el diagnostico de fallas en redes de media tensión según equipo Centrix Sebakmt (Tesis de grado)*. (F. d. tecnologia, Ed.) Pereira: Universidad tecnologica de Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1117/62131923L864.pdf?sequence=1>
- Restrepo Londoño, A., & Sepúlveda Rivillas, C. (2016). Caracterización financiera de las empresas generadoras de energía colombianas (2005–2012). *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, XXIV (2), 63-84. Obtenido de <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=90947653005>
- Romero, C. (1996). *Redes subterráneas de Distribución (tesis ingeniería eléctrica)*. Escuela politecnica nacional.
- Rosander, A. (1992). *La búsqueda de la calidad en los servicios*. Ediciones Díaz de Santos.
- Sánchez, M. (1994). *Análisis del comportamiento del suelo radiante por cable eléctrico en la calefacción de los edificios industriales*. Universitat Politècnica de Catalunya.

- Tobón, D., & Valencia, G. (2003). Dinámica institucional de la industria eléctrica colombiana: propuesta para un cambio. *Lecturas de Economía*, (58), 7-45. Obtenido de <http://tesis.udea.edu.co/handle/10495/3889>
- Toldeano, S. (2007). *Técnicas y procesos en las instalaciones eléctricas en media y baja tensión*. Editorial Paraninfo.
- Top Cable. (2017). *Designación de los cables eléctricos de Baja Tensión (0,6/1 KV)*. Obtenido de <http://www.topcable.com/blog-electric-cable/designacion-de-los-cables-electricos-bt-061-kv/>
- Urbiztondo, S. (2000). *La regulación de la calidad en el servicio eléctrico: una evaluación en base a principios teóricos y la experiencia internacional*. Obtenido de https://aaep.org.ar/espa/anales/pdf_00/urbiztondo.pdf
- Villegas, E. (2017). *Desarrollo de una Red Eléctrica Subterránea en 13.2kV (tesis Ingeniero Eléctrico)*. Universidad de Valparaíso. Obtenido de http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-2500/UCC2917_01.pdf